

d'origine. Ainsi, l'activité solaire est un paramètre important de la durée de vie des satellites en orbite basse. Elle est aussi à prendre en compte lors de la rentrée dans l'atmosphère des satellites importants, même lorsque le retour du satellite est contrôlé, comme cela a été le cas récemment pour la station *Mir*. En effet, les débris non brûlés dans l'atmosphère peuvent être dangereux s'ils tombent sur des régions habitées, et une éruption importante peut modifier le point d'impact de débris qui redescendent sur la Terre.

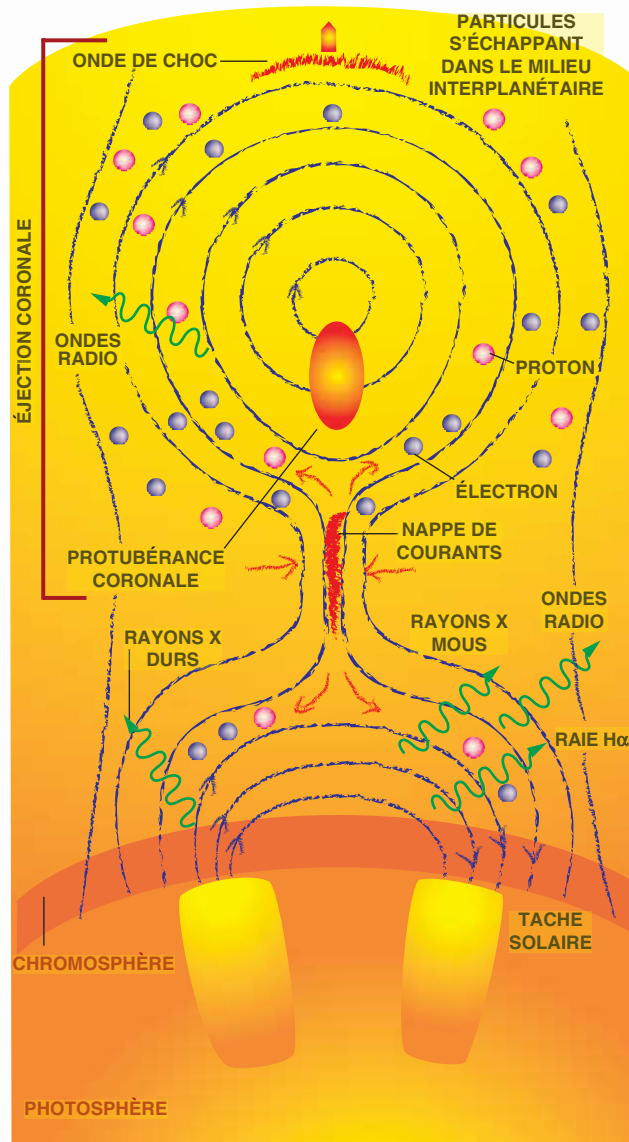
Les rayons ultraviolets ont aussi la propriété d'ioniser l'atmosphère terrestre dans la région située entre 80 et 1 000 kilomètres d'altitude, l'ionosphère. Des électrons sont libérés, changeant les conditions de propagation et de réflexion

des ondes radio émises du sol ou par les satellites. Les ondes décamétriques utilisées pour les liaisons ondes courtes ont besoin de se réfléchir sur l'ionosphère terrestre pour se propager à longue distance. Une forte éruption peut totalement empêcher leur propagation autour du Globe et couper durant plusieurs heures les liaisons radio à grande distance, utilisées notamment dans les communications entre les avions et les centres de contrôle ; les avions se trouvent isolés et ne peuvent avoir de contact avec les autres avions que s'ils sont en vue directe. À plus courtes longueurs d'onde, les liaisons provenant des satellites ne sont pas interrompues, mais elles peuvent être perturbées, faussant par exemple les positions mesurées par les systèmes de localisation, tel le GPS (*Glo-*

bal Positionning System, système global de localisation).

Lors d'une éruption importante, outre les rayons X et les rayons ultraviolets, le Soleil éjecte des particules accélérées qui sont principalement des protons et des noyaux d'atomes ionisés. Se déplaçant à une vitesse de l'ordre du tiers de la vitesse de la lumière (100 000 kilomètres par seconde), la majorité d'entre elles arrivent sur la Terre quelques dizaines de minutes après les rayonnements ultraviolets et X. Comme ces particules sont électriquement chargées, elles suivent les lignes du champ magnétique interplanétaire et se heurtent au champ magnétique terrestre qui, comme l'atmosphère, nous protège en jouant le rôle d'un bouclier magnétique. Le bouclier étant moins

Les éruptions solaires



Ce sont les champs magnétiques coronaux dont on a schématisé ci-contre la structure qui sont responsables des éruptions. Le cœur de l'éruption, où l'énergie est libérée, est une nappe de courants électriques située dans la couronne. C'est là que les champs magnétiques se restructurent, que l'énergie est dissipée et que les particules sont accélérées. C'est dans cette nappe de courants que se fait la reconnexion des lignes de champ magnétique. Certaines particules partent vers le bas, entrent en collision avec les couches plus denses de l'atmosphère solaire, et émettent des rayonnements X et radio ; quand l'éruption est violente, l'émission a également lieu en lumière blanche et dans le domaine des rayonnements gamma ; c'est également dans cette région que la raie alpha de l'hydrogène, que l'on détecte dans le spectre de cet élément, est émise.

Dans les pieds des boucles, les électrons accélérés donnent lieu aux émissions des rayonnements X durs par interaction avec le plasma et le champ magnétique, tandis que les protons émettent des rayons gamma par collision avec les noyaux des atomes du milieu. La chromosphère est chauffée par les particules qui l'atteignent et par le flux de conduction venant de la couronne.

D'autres particules se dirigent vers le haut en suivant les lignes du champ magnétique. Quand celui-ci est ouvert sur le milieu interplanétaire, les particules emplissent rapidement le Système solaire interne, atteignent la Terre en quelques heures, et mettent plusieurs jours à se disperser.

Au-dessus de la nappe de courants électriques, se situe la partie haute de l'éruption accompagnée de la déstabilisation d'une protubérance solaire. Boucles magnétiques, protubérance et onde de choc montent de concert. La partie haute, lorsqu'elle est éjectée dans l'espace, est nommée éjection coronale. Quand les vitesses sont suffisantes, une onde de choc se forme en amont de l'éjection. Les électrons accélérés déclenchent des sursauts radio-électriques qui sont à des longueurs d'onde métriques.

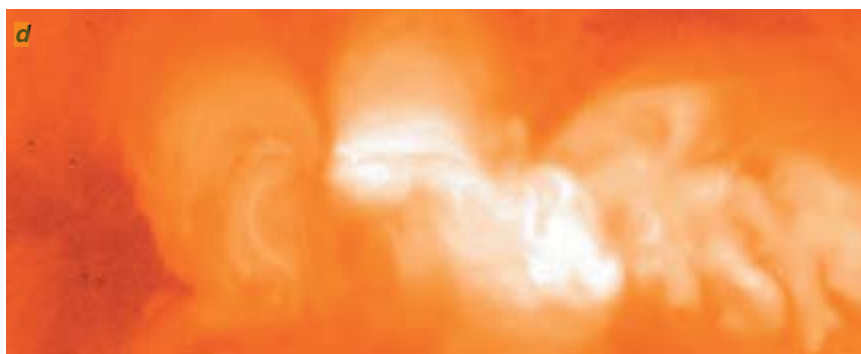
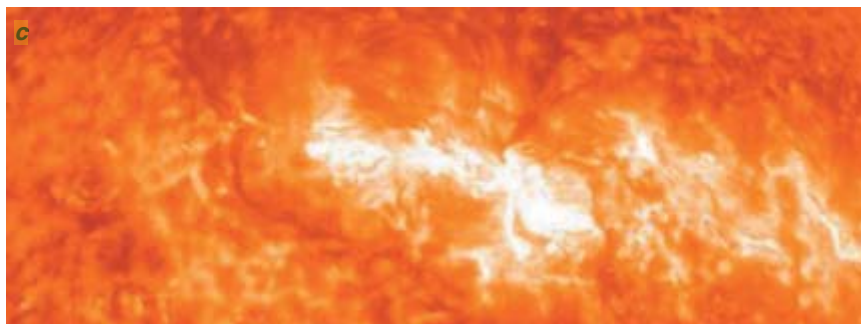
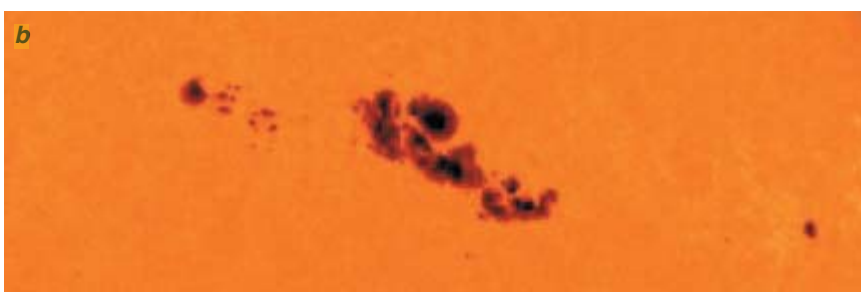
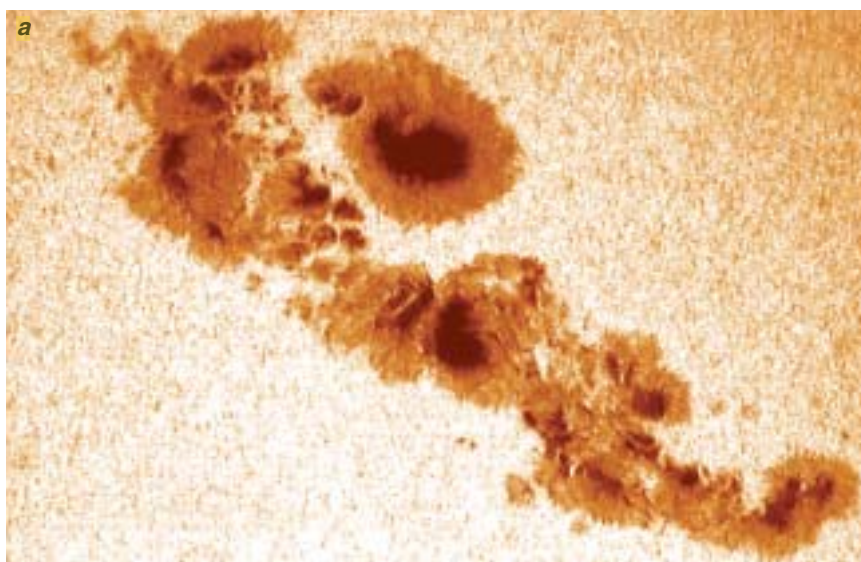
Quand une protubérance coronale est éjectée loin des taches, la partie basse de l'éruption n'est pas nécessairement observée et l'éjection coronale qui s'accompagne d'une émission de rayons X et éventuellement de particules accélérées, est le seul signal que nous recevons de l'éruption.

efficace aux pôles, les particules solaires pénètrent plus aisément dans les régions polaires. Les doses reçues à bord des avions ou des stations spatiales (la station internationale est en orbite basse, à 400 kilomètres de la Terre), ne sont notablement accrues en cas d'éruption solaire que pour les hautes latitudes.

Les méfaits ne sont pas seulement biologiques : une partie de l'électronique embarquée à bord des satellites, tels les microprocesseurs, subit des interactions qui peuvent non seulement être la source d'erreurs de calcul, mais aussi endommager les circuits. La dimension des composants diminue à mesure que leur nombre augmente (d'un facteur dix tous les sept ans), les rendant toujours plus sensibles aux rayonnements. De plus, le coût des composants spéciaux (qui résistent aux rayonnements) étant important, les industriels cherchent à en diminuer le nombre. Lors des lancements de satellites, des éléments essentiels à la réussite du tir et de la mise en place du satellite, tels que la centrale d'inertie du lanceur et les capteurs solaires et stellaires, peuvent être perturbés par les particules énergétiques issues des éruptions.

En ce qui concerne les avions, qui dépendent aujourd'hui de l'électronique embarquée, les constructeurs se préoccupent aussi des effets néfastes des particules solaires sur les microprocesseurs et sur leurs mémoires numériques. Au sol, en cas de très grande éruption, des effets néfastes sur les ordinateurs ne sont plus à exclure en raison de la miniaturisation des composants électroniques.

Une troisième source de perturbation de l'environnement par le Soleil est due aux éjections coronales qui accompagnent fréquemment les éruptions. Le nuage de plasma éjecté perturbe le vent solaire, un flux permanent de particules beaucoup moins rapides que celles évoquées précédemment. L'éjection coronale parcourt la distance Soleil-Terre en quelques jours et déclenche les orages géomagnétiques et les aurores polaires. Cette matière éjectée de la couronne n'est pas nécessairement liée à des phénomènes éruptifs visibles dans le domaine optique. Quand leur vitesse est suffisante, ces nuages sont précédés d'une onde de choc capable, elle aussi, d'accélérer des particules (voir l'article Éjections coronales et tempêtes spatiales, par James Burch, page 46).



SOHO-MIDLET Consortiums, YOHKOH/SXT Project

2. CERTAINS GROUPES DE TACHES SOLAIRES (a) sont le signe avant-coureur d'une éruption solaire. Ce groupe (repris sur la photographie b) a été photographié le 29 mars 2001, quelques jours avant l'éruption importante du 2 avril. Sur la photographie en rayonnement visible émis par la photosphère (b), les taches apparaissent en noir. La photographie du rayonnement ultraviolet (c) émis par des couches supérieures de l'atmosphère solaire (la chromosphère et la région de transition avec la couronne, à quelques centaines de milliers de degrés) a été prise par le satellite européen SOHO ; on y observe les boucles de champ magnétique à moyenne échelle qui surplombent les taches. Enfin la photographie en rayons X (d) a été prise par le satellite japonais YOHKOH ; elle montre les structures des boucles de plasma (à quelques millions de degrés) qui circulent au-dessus du groupe de taches, à plus grande échelle (les photographies b, c et d ont été prises exactement sur la même région).